

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra materiálu

Studijní program: 2341 B Strojírenství
Obor: Materiály a technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství

Studium charakteru struktury a chování povrchových vrstev
u vybraných rostlinných objektů.

Study the structure character and behavior of surfaces of
selected plant objects.

Eva Habelová

KMT – B – 189

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Dora Kroisová, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Pavel Kejzlar
Ing. Lukáš Voleský

Rozsah práce: 56

Obrázků: 46

Tabulek: 1

Liberec

2012

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date

Signature

Poděkování

Ráda bych zde poděkovala rodičům za mnohaletou podporu mých studií, vedoucí mé bakalářské práce a všem, kteří mě podporovali a měli semnou trpělivost.

Anotace

Obsahem bakalářské práce je studium a hodnocení charakteru struktury a chování povrchových vrstev u vybraných rostlinných objektů. Byly vybrány listy blahovičníku rudokvětého, banksie celolisté, růže Ena Harkness, prvosenky jarní, narcisu žlutého, kontryhelu obecného a sparmánie africké. Listy byly vysušeny a byla naměřena smáčivost jejich povrchů jako jejich kontaktní úhel. Dále byly hodnoceny charaktery jejich povrchů rastrovacím elektronovým mikroskopem. Smáčivost povrchů rostlin je v souladu s jejich povrchovou strukturou.

Annotation

The content of the thesis is the study of the structure character and surface behavior of selected plant objects. Were selected: jarrah red-flower, banksia integrifolia, rose Ena Harkness, polyanthus veris, yellow daffodil, alchemilla vulgaris and sparmania africana. The leaves were dried and measured their surface wettability. Plant surfaces were also evaluated their surfaces by scanning electron microscope. Wettability of the surfaces of plants is consistent with their surface structure.

Klíčová slova

Povrchová struktura, smáčivost, hydrofobicita, hydrofilicita.

Key words

Plant surface, wettability, hydrophobicity, hydrophilicity.

Obsah

Seznam obrázků	8
Seznam zkratk	10
1. Úvod	11
2. Teoretická část	12
2.1. Rostliny a jejich povrchové struktury	12
2.2. Charakteristika povrchových struktur rostlin	13
2.2.1. Smáčivost	13
2.2.2. Metody stanovení úhlů smáčení	14
2.3. Inspirace rostlinými povrchy a využití v praxi	20
2.4. Elektronový mikroskop	22
3. Experimentální část	25
3.1. Příprava vzorků	25
3.1.1. Příprava vzorků pro stanovení kontaktního úhlu	25
3.1.2. Příprava vzorků pro elektronový mikroskop	25
3.2. Sledování charakteru povrchových struktur	27
3.3. Stanovení kontaktních úhlů	44
4. Vyhodnocení výsledků	46
5. Závěr	50
6. Literatura a použité zdroje	51

Seznam obrázků

Obr. 1: Povrchová rostlinná buňka a její povrchové vrstvy. [1].....	12
Obr. 2: Kapalina (A) umístěná na pevný povrch (B) v plynném prostředí (C). [10]	13
Obr. 3: Měření úhlu smáčení na nakloněné desce. [14].....	15
Obr. 4: Přisedlá kapka (a) a přilínající bublina (b.) [14].....	15
Obr. 5: Zobrazení principu Wilhelmyho metody. [15]	16
Obr. 6: Schéma kulové kapky. [11]	16
Obr. 7: Rozdělení povrchů podle úhlu smáčení. [3]	17
Obr. 8: Ukázka chování kapky vody na superhydrofobním povrchu. [17]	19
Obr. 9: Ukázka modelového superhydrofobního povrchu se samočistící schopností, lotosový efekt [18].	21
Obr. 10: Typická velikost objektů, které lze pozorovat elektronovým mikroskopem. Pro srovnání je uveden i rozsah světelného mikroskopu. [19].....	22
Obr. 11: Při dopadu elektronů na vzorek dochází k vzájemné interakci a vzniká množství různých signálů, které nesou informaci o pozorovaném vzorku. Je-li vzorek dostatečně tenký, část elektronů jím projde. [19]	22
Obr. 12: Schématické znázornění principu transmisního (vlevo) a řádkovacího (vpravo) elektronového mikroskopu [18].	23
Obr. 13: Řádkovací elektronový mikroskop. [19]	24
Obr. 14: Listy a květ blahovičnicku rudokvětého. [25].....	27
Obr. 15: Zvětšený povrch horní strany listu blahovičnicku rudokvětého pokrytý kulovitými konkávními buňkami cca 25μm velkými, vzdálenými od sebe cca 20μm. .	28
Obr. 16: Zvětšený povrch horní strany listu blahovičnicku rudokvětého. Na konkávních buňkách jsou patrné voskové destičky.....	28
Obr. 17: Zvětšený povrch horní strany listu blahovičnicku rudokvětého. Voskovité destičky šířky cca 0,1μm a délky až 2μm jsou po povrchu nahodile rozesety.....	29
Obr. 18: Zvětšený povrch spodní strany listu blahovičnicku rudokvětého pokrytý oválnými konkávními buňkami a průduchy rostliny.	29
Obr. 19: Zvětšený povrch spodní strany listu blahovičnicku rudokvětého s viditelnými voskovitými destičkami.	30
Obr. 20: Zvětšený povrch spodní strany listu blahovičnicku rudokvětého hustě pokrytý voskovitými destičkami širokým cca 0,1 μm a dlouhými cca 2 μm.	30
Obr. 21: Listy a květ banksie celolisté. [27]	31
Obr. 22: Zvětšený povrch spodní strany listu banksie celolisté s voskovými útvary připomínající vlákna. Voskovité útvary mají spirálovitý charakter, jejich průměr se pohybuje okolo 5 μm.	32
Obr. 23: Zvětšený povrch spodní strany listu banksie celolisté.	32
Obr. 24: Zvětšený povrch spodní strany listu banksie celolisté.	33
Obr. 25: Květ růže. [29].....	33

Obr. 26: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu růže hustě pokryt vysušenými konkávními buňkami průměru cca 20 μm , výšky cca 25 μm s velmi zvrásněnou strukturou.	34
Obr. 27: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu růže.	34
Obr. 28: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu růže s viditelnou strukturou konkávní buňky.	35
Obr. 29: Listy a květ prvosenky. [31]	35
Obr. 30: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu prvosenky s vysušenými konkávními buňkami. Pravidelné uspořádání vysušených kulovitých konkávních buněk průměru cca 25 μm	36
Obr. 31: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu prvosenky s vysušenými konkávními buňkami.	36
Obr. 32: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu prvosenky s viditelnou povrchovou strukturou konkávní buňky, je vidět pravidelné zvrásnění šířky cca 0,5 μm utvořené svisle na jednotlivých buňkách.	37
Obr. 33: Květ narcisu. [33]	37
Obr. 34: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu narcisu s vysušenými konkávními buňkami.	38
Obr. 35: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu narcisu s vysušenými konkávními buňkami.	38
Obr. 36: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu narcisu s viditelným řádkováním na povrchu konkávní buňky. Pravidelné řádkování tvořené cca 0,4 μm širokými a 0,5 μm vysokými řádky vzdálenými od sebe 1 μm	39
Obr. 37: Listy kontryhelu obecného. [35]	39
Obr. 38: Zvětšený povrch horní strany listu kontryhelu obecného.	40
Obr. 39: Zvětšený povrch horní strany listu kontryhelu obecného.	40
Obr. 40: Zvětšená horní strana listu kontryhelu obecného s viditelnou voskovitou síťovinou pokrývající povrch. Vlákná mají průměr cca 0,1 μm	41
Obr. 41: Listy a květ sparmanie. [37]	41
Obr. 42: Zvětšený povrch horní strany listu sparmanie s chaoticky uspořádanými chlupy různých délek, až délky cca 1 mm.	42
Obr. 43: Zvětšený povrch horní strany listu sparmanie.	42
Obr. 44: Zvětšený povrch horní strany listu sparmanie.	43
Obr. 45: Zvětšený povrch horní strany listu sparmanie.	43
Obr. 46: Povrch sparmanie.	48

Seznam zkratk

θ	úhel smáčení	[°]
γ	povrchové napětí	[N.m ⁻¹]
L	obvod destičky	[m]
F	síla	[N]
V	objem vytlačené kapaliny	[m ³]
ρ	hustota	[kg/m ³]
g	tíhové zrychlení	[m/s ²]
h	výška sférické kapky	[m]
r	poloměr podstavy	[m]
γ_{AB}	látka-kapalina	[N.m ⁻¹]
γ_{AC}	kapalina – plyn	[N.m ⁻¹]
γ_{BC}	pevná látka – plyn	[N.m ⁻¹]

1. Úvod

Tisíciletý vývoj rostlin na planetě Zemi v různých prostředích zajistil přizpůsobení rostlinných povrchů okolní vlhkosti, teplotě, prašnosti a mnoha dalším faktorům ovlivňující život rostliny. Již od pradávna se lidé učili od přírody, dnes se tato věda nazývá bionika. Zkoumáním rostlin, živočichů, ale i nerostů se přišlo na mnoho vynálezů, materiálů a technologií. Přesto nebyla nápaditost a rozmanitost přírodních výtvarů zdaleka vyčerpána. Při pozorování lotosového listu je zřejmé, že zůstává stále čistý, i když je v prašném prostředí. Při bližším zkoumání bylo zjištěno, že samočistící efekt je způsoben mikroskopickou strukturou povrchu listu. Když je známa tato struktura, je možno ji použít v průmyslu jako povrchové úpravy skel.

Přestože se již mnoho odborníků zabývá studiem povrchu rostlin, není v lidských silách prozkoumat a popsat všechny rostlinné povrchy. To bylo jedním z důvodů výběru tohoto tématu bakalářské práce.

Cílem této bakalářské práce bylo seznámení se s rostlinnými povrchy z hlediska biologického, ale i z pohledu technického a možnosti jejich budoucích aplikací například ve strojním průmyslu.

Bakalářská práce je dále rozčleněna do čtyř hlavních kapitol:

Kapitola druhá je teoretická. Zabývá se morfologií listu rostliny, osvětlením pojmu smáčivost a metod měření smáčivosti. Základním dělením rostlinných povrchů a jejich využitím v praxi. Druhy a princip elektronového mikroskopu.

Kapitola třetí se zaměřuje na praktické provedení snímků povrchů vybraných rostlinných vzorků.

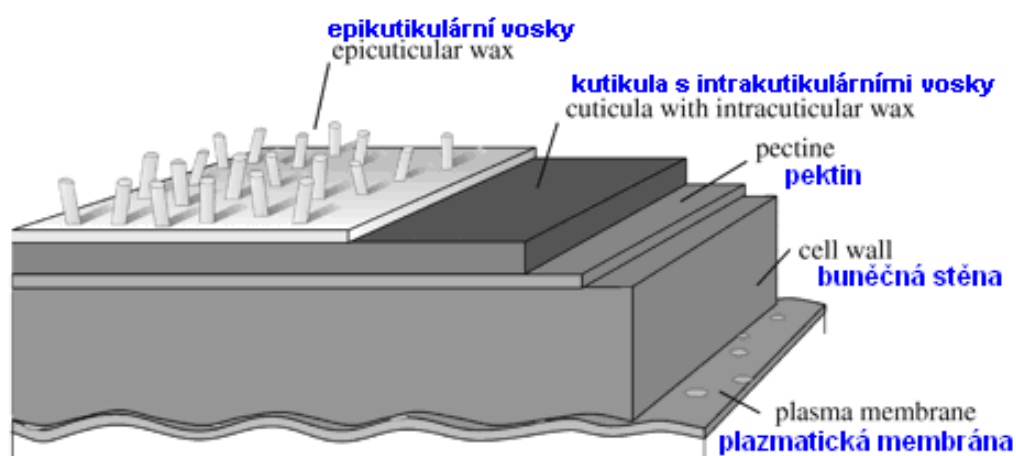
Kapitola čtvrtá je věnována hodnocení povrchů na základě snímků z rastrovacího elektronového mikroskopu.

Kapitola pátá shrnuje poznatky celé práce a možnosti jejich uplatnění v praxi nebo dalším výzkumu.

2. Teoretická část

2.1. Rostliny a jejich povrchové struktury

Povrchové struktury rostlin jsou velmi rozmanité, jejich vlastnosti se vyvíjely v průběhu několika milionů let, mutacemi a selekcemi, vlivem prostředí. Rozmanitost je založena na variabilitě buněk, mikrostruktur a nanostruktur, které tvoří povrch rostlin – obr. 1.



Obr. 1: Povrchová rostlinná buňka a její povrchové vrstvy. [1]

Epidermální buňky (povrchové buňky) představují vnější vrstvu všech rostlinných povrchů nacházejících se na listech, plodech, květech i stoncích. Pokožka (epidermis) chrání rostlinu před nadměrnou ztrátou vody, nebo naopak absorbuje vodu a minerální látky, reguluje výměnu plynů (kyslíku a oxidu uhličitého) a vylučuje některé metabolity (produkty látkové výměny) na povrch rostliny. Jedná se o jednovrstevné krycí pletivo. Obvykle je průsvitné, vylučuje na povrch voskovitou kutikulu a obsahuje řadu buněk: pokožkové, svěrací, ale také buňky chlupů (trichomů). [2, 3, 4]

Kutikula je složená z kutinu (degradovatelný biopolymer), kutanu (nedegradovatelný polymer) a z rozpustných kutikulárních vosků, které tvoří další vrstvu pokožky rostliny. Díky ní může mít rostlina povrch hydrofilní (smáčivý) u mladých vyvíjejících se listů a naopak hydrofobní (vodu odpuzující) u listů zralých. Zároveň omezuje únik metabolitů (látek vnitřní přeměny) z vnitřních pletiv a omezuje vstup znečišťujících látek z prostředí. Kutikula je nebuněčná vrstva, která je vylučována buňkami na povrchu těla a chrání rostlinu zejména před slunečním zářením, nadměrným výparem a proti patogenům. [4, 5, 6]

Pektin je lineární polysacharid, který je schopen na sebe vázat vodu. Funguje jako tmelící vrstva mezibuněčných vrstev vyšších rostlin. [7]

Buněčná stěna plní jednak funkci kostry (zpevňuje, vyztužuje rostlinu), ale také funguje jako obal rostliny a jako sklad určitých makromolekulárních látek. [8]

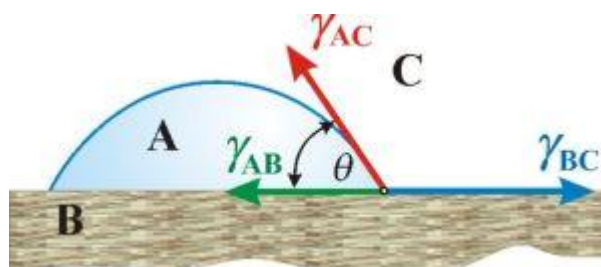
Plazmatická membrána reguluje přechod látek z okolního prostředí do buněk a naopak. [9]

2.2. Charakteristika povrchových struktur rostlin

2.2.1. Smáčivost

Povrchy rostlin jsou z technického hlediska charakterizovány podle různých kritérií, jakými jsou: například smáčivost, nebo úhel náklonu.

Smáčivost je vlastnost kapaliny přilnout k povrchu pevných látek a udržovat s ním kontakt na základě mezimolekulárních interakcí. Kvantitativní vyjádření rozsahu smáčivosti pevných látek udává tzv. kontaktní úhel, který je přímo měřitelná vlastnost fázového rozhraní pevná látka – kapalina – plyn. - obr. 2.



Obr. 2: Kapalina (A) umístěná na pevný povrch (B) v plynném prostředí (C). [10]

Na obrázku jsou patrné tři různé stykové plochy - rozhraní fází mezi pevnou látkou a plynem, kapalinou a plynem a kapalinou a pevnou látkou. Každému rozhraní odpovídá příslušné povrchové napětí γ_{BC} (pevná látka - plyn), γ_{AC} (kapalina - plyn) a γ_{AB} (pevná látka-kapalina). Povrchové napětí je vyjádřeno jako energie na plochu (J.m^{-2}) nebo také síla na jednotku délky (N.m^{-1}). Úhel θ mezi rozhraním kapalina - plyn a pevná látka - kapalina se nazývá úhel smáčení, a jak z Youngovy rovnice vyplývá, je závislý na velikosti povrchového napětí na jednotlivých rozhraních. [1, 3, 11, 12, 13]

Youngova rovnice (r. 1805 Thomas Young). [10]:

$$\gamma_{BC} - \gamma_{AB} = \gamma_{AC} \cdot \cos \theta \quad (1)$$

Nebo ve tvaru:

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{BC} - \gamma_{AB}}{\gamma_{AC}} \quad (2)$$

Úhel náklonu

Kápneme-li kapku vody na kapalinu odpuzující povrch, začne se kapka pohybovat při určitém náklonu povrchu, který má anglické označení tilt angle (TA). Charakteristické TA pro hydrofobní a samočistící povrchy je méně než 10° [1,3, 11, 12, 13]

Podle úhlu smáčení se povrchy materiálu dělí na:

- 1) $\theta = 0^\circ$ - dokonale smáčivé
- 2) $0^\circ < \theta < 90^\circ$ - dobře smáčivé
- 3) $90^\circ < \theta < 180^\circ$ - špatně smáčivé

2.2.2. Metody stanovení úhlu smáčení

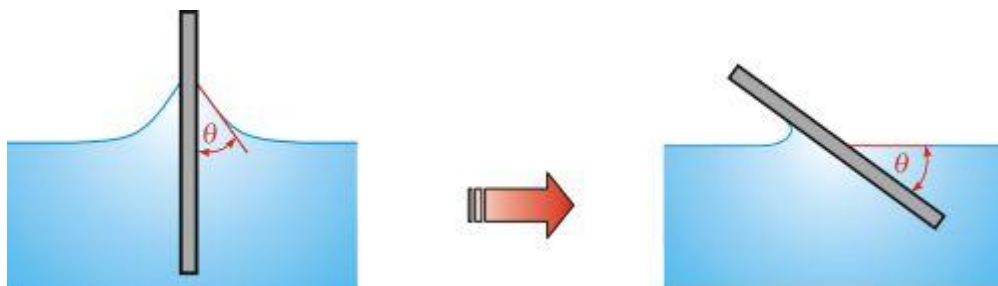
Metody stanovení úhlu smáčení je možné rozdělit na metody přímé, mezi které patří měření úhlu smáčení na naklánějící se destičce, měření úhlu smáčení na přisedlé kapce nebo přilínající bublině, a metody nepřímé zahrnující Wilhelmyho metodu vyvažovací destičky, určení úhlu smáčení z průměru podstavy a výšky sférické kapky.

Přímé metody

Měření úhlu smáčení na naklánějící se destičce

Tento způsob patří k historicky nejstarším a nejjednodušším. Destička ze zkoumaného materiálu je vnořena do kapaliny. Poté je nakláněna vůči hladině, až je povrch kapaliny na jedné straně destičky rovný až k čáře styku mezi deskou a kapalinou – obr. 3. V tomto okamžiku svírá hladina kapaliny s rovinou destičky právě úhel smáčení. Povrchy testované destičky a kapalina, do které vzorek ponoříme, musí být dokonale čisté. Metoda byla používána zejména pro měření malých úhlů (menších než 10°).

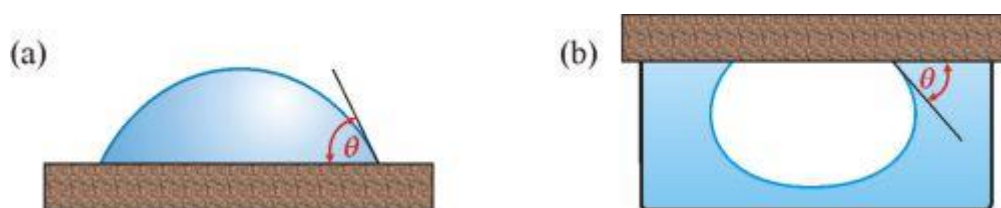
Nevýhodou této metody je její nepřesnost a nutnost mít destičku dokonale rovnou. [14]



Obr. 3: Měření úhlu smáčení na nakloněné desce. [14]

Měření úhlu smáčení na přisedlé kapce nebo přilínající bublině

Touto metodou jsme schopni přímo odečíst úhel smáčení pomocí goniometrického okuláru, popřípadě díky moderním přístrojům jako jsou kamery. Nevýhodou je opět nepřesnost měření odvíjející se od zkušeností vědeckého pracovníka – obr.4. [14]



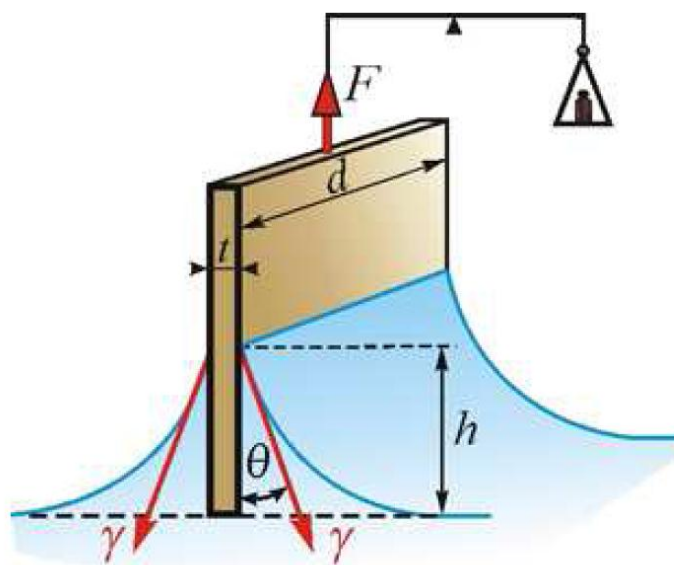
Obr. 4: Přisedlá kapka (a) a přilínající bublina (b.) [14]

Nepřímé metody

Wilhelmyho metoda vyvažovací destičky

Metoda je založená na vztlínání kapaliny po povrchu destičky. Úhel smáčení se určí ze změny hmotnosti destičky dané dodatečnou silou F , nutnou k vyvážení přesných vah, je-li známo příslušné mezifázové napětí γ – obr.5. [15]

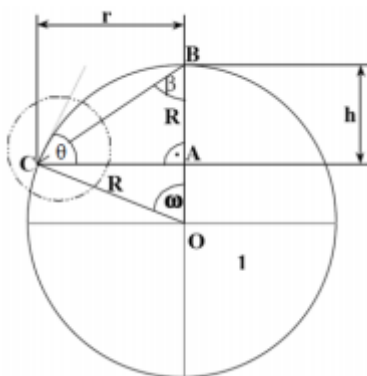
$$F = L \cdot \gamma \cdot \cos \theta - V \cdot \Delta \rho \cdot g \quad (3)$$



Obr. 5: Zobrazení principu Wilhelmyho metody. [15]

Určení úhlu smáčení z průměru podstavy a výšky sférické kapky

Část kapky na povrchu nesmáčivého materiálu má tvar kulové výseče. Místo přímého změření úhlu smáčení změříme na průmětu snímku kapky základnu $2r$, výšku h a úhel smáčení dopočítáme – obr. 6. [11]



Obr. 6: Schéma kulové kapky. [11]

Z podobností trojúhelníků dostaneme po úpravách vztah:

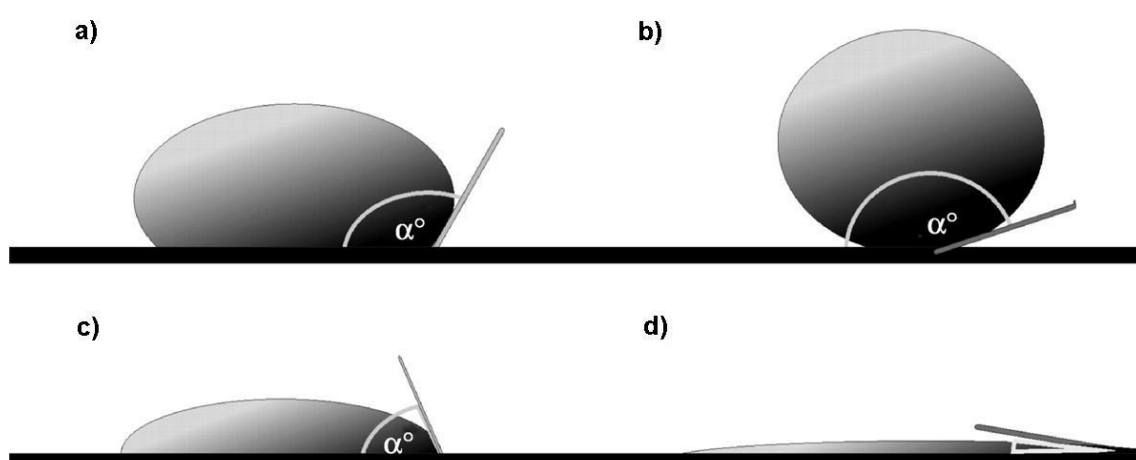
$$\theta = 2 \cdot \tan^{-1} \frac{h}{r}$$

Tuto metodu můžeme použít pouze pro malé kapky na povrchu hydrofobního a superhydrofobního povrchu, a vztah platí pro úhly smáčení větší než 90° . [1, 3, 11, 12, 13]

Rozdělení rostlinných povrchů podle úhlu smáčení

Kapka kapaliny umístěná na rovný povrch tuhé fáze, se může zachovat různými způsoby: kapka se rozteče, nebo zaujme určitý tvar, který je dán úhlem smáčení (CA).

Dle kontaktního úhlu lze povrchy dělit do čtyř skupin – obr. 7:



Obr. 7: Rozdělení povrchů podle úhlu smáčení. [3]

a) Hydrofobní

CA je mezi 90° až 150° .

b) Superhydrofobní

CA nad 150° .

Pokud mají superhydrofobní povrchy nízkou hysterézi, nízký úhel náklonu (méně než 10°) mohou poskytnout samočistící vlastnosti.

c) Hydrofilní

CA je mezi 10° až 90° .

d) Superhydrofilní

CA je méně než 10° [1, 2, 3, 12]

Hydrofóbní a superhydrofóbní povrchy

Vodu odpuzující povrchy rostlin jsou tvořeny různými způsoby.

Hierarchická struktura hydrofobních a superhydrofóbních rostlinných povrchů je tvořena: Konkávními buňkami, které jsou posety náhodně orientovanými malými hydrofobními voskovými útvary odlišných tvarů. Smáčení takovéto hierarchické struktury je zcela minimalizováno. Vzduch je uchycen v dutinách konvexních buněk a mezi voskovitými útvary. Rozšiřuje se rozhraní voda – vzduch, zatímco pevné rozhraní se snižuje, důsledkem je nesmáčení povrchu. Voda z takovéto plochy získá jen velmi málo energie prostřednictvím adsorpce, a tudíž tvoří kulové kapky. Kontaktní plochy jsou tedy menší, stejně jako přilnavost k povrchu.

Na povrchu jsou rozsety tyčinky (papily), či tabulkové (ploché) buňky tvořené voskem. Krystaly tvoří tento hydrofobní povrch. Kapička se tedy pohybuje jenom po krystalcích, kontaktní plocha je minimální a přilnavost mezi kapalinou a základním povrchem listu je značně snížena. Voda se valí po krystalcích, pokud jsou na povrchu znečišťující částice, jsou sebrány stékající kapkou vody, povrch je tím samočisticí.

Efektivně vodu odpuzující jsou i povrchy pokryté drobnými chloupky. Hustota kratších chlupů zajišťuje předěl mezi samotným povrchem rostliny a kapkou vody, která se drží na koncích chlupů. Rostliny mohou mít i dlouhé chloupky, tzv. „vlasy“ (trichomy), až několik stovek mikrometrů dlouhé. Vlasy jsou schopny mezi sebou udržet vzduch až několik dní. Tyto povrchy jsou i pod vodou až na 17 dní nesmočeny (například u některých živočichů, pavouků), voda nepronikne mezi chloupky[3]. Formace chlupků a vytvořená vzduchová kapsa může zvýšit kontaktní úhel. Chloupky mohou také odrážet viditelné světlo, nebo mít vliv na ztráty vody. [2, 3]

Se strukturou povrchu souvisí také povrchové napětí. Je to jev, při kterém se povrch kapaliny snaží dosáhnout stavu o nejmenší energii, tedy i minimální plochy. Pro všechny případy povrchů kapka zaujme tvar energeticky nejméně náročný, tedy tvar koule. Pro případ ponoření rostliny do vody se povrch kapaliny chová jako elastická fólie. Snaží se udržet energeticky výhodný tvar, proto neproniká mezi vlásky rostliny a ona se nesmočí. [16]



Obr. 8: Ukázka chování kapky vody na superhydrofobním povrchu. [17]

Hydrofilní a superhydrofilní povrchy

Různé mikrostruktury a nanostruktury způsobují hydrofilicitu povrchů. Plochy můžeme rozdělit na trvale mokré, vodu absorbující a ty, které vodu šíří.

Permanentně mokré povrchy se vyskytují u trvale ponořených rostlin. Listy trvale obklopené vodou mají poměrně hladký povrch buněk (tabulky nebo mírně konvexní buňky), nemají trojrozměrné vosky, papily či vlasy.

Vodu absorbující struktury se vyznačují velkou porézností, póry či vícebuněčnými chlupy. Například rašeliník má houbovitou strukturu, kterou tvoří póry o cca 10–20 mikrometrech v průměru, umístěné v epidermu. Funkce porézních povrchů spočívá v rychlém vstřebávání mlhy, rosy či deště. Některé pouštní rostliny, jako například kaktusy a jeho trny, jsou také schopny přijímat vodu svým povrchem. Vzdušné kořeny u orchidejí přijímají vodu porézní vnější vrstvou, která funguje jako houba; struktura těchto kořenů se skládá většinou z mrtvých buněk.

Absorpční vlasy, které jsou k vidění například u španělského mechu, absorbují vodu díky absorpčním mnohobuněčným trichomům. [2, 3]

Nevýhodou superhydrofilních povrchů je snížená výměna plynů a možnost vzniku biofilmů.

Zřejmá výhoda hydrofilního charakteru rostlinných povrchů je v rychlém příjmu potřebných živin z vody, zejména pro rostliny, které nemají kořeny a cévní systém pro její dopravu, jako jsou například mechy, lišejníky či játrovky.

U masožravých rostlin slouží superhydrofilní povrch k polapení hmyzu.

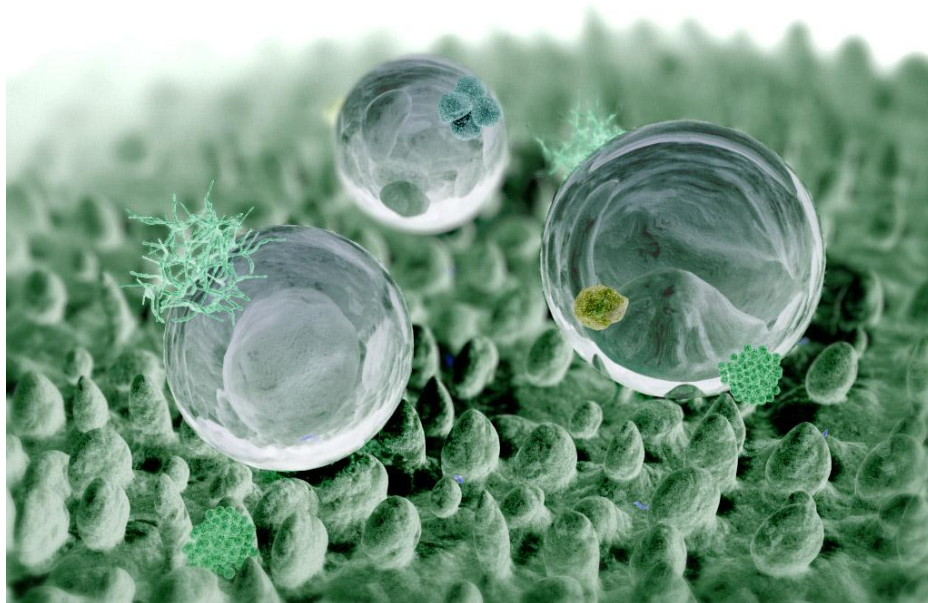
Voda se odpařuje ze superhydrofilních listů mnohem rychleji než z hydrofobních povrchů, na kterých voda tvoří zaoblené nebo kulovité kapky. [2, 3]

2.3. Inspirace rostlinnými povrchy a využití v praxi

Superhydrofobní povrchy potřebují určitou drsnost v mikro- a nanorozměrech a pro zachování funkčnosti musí být velmi odolné proti opotřebení a zachovávat si nízké tření. Kapka vody po povrchu steže a nabalí na svůj povrch nečistoty, proto je také nutné, aby daný povrch umožnil kapce proniknout k nečistotám, které chceme odstranit. Vodu odpuzující povrch můžeme vytvořit i na přechodnou dobu, již existují spreje, kterými povrch vytvoříme a jednoduše ho i otřeme. Škála využití je opravdu velká: samočisticí skleněné čočky, skla, venkovní nátěry; vrstvy nanášené na textil skla, ale i nátěry aut, lodí, letadel snižující odpor vzduchu (vody). Při pohybu může hydrofobní povrch snížit tření až o 80 % při rychlosti 4m/s, a o 55% při rychlosti 8 m/s. Na těchto površích nekondenzuje voda, neudrží se mikroorganismy, a jak bylo zmíněno, výrazně se snižuje tření. K výrobě takovýchto povrchů se využívají různé technologie jako například nanolitografie, koloidní systémy a fotolitografie. [2, 3]

Podobně jsou na tom i hydrofilní povrchy. Nátěry obsahující funkční pigmenty, nanočástice a pojiva vytvoří vrstvu o tloušťce desítek nanometrů, která rychle rozptýlí vodu dopadající na povrch, a ta se rychleji odpaří. [3]

Další oblastí využití je fotokatalytický proces, který způsobuje chemický rozklad organických nečistot absorbovaných na povrchu při vystavení světlu. Jde o přeměnu organických molekul na oxid uhličitý a vodu, popřípadě i jiné látky. Takové vrstvy jsou opatřeny vrstvou oxidu titaničitého. [2, 3]



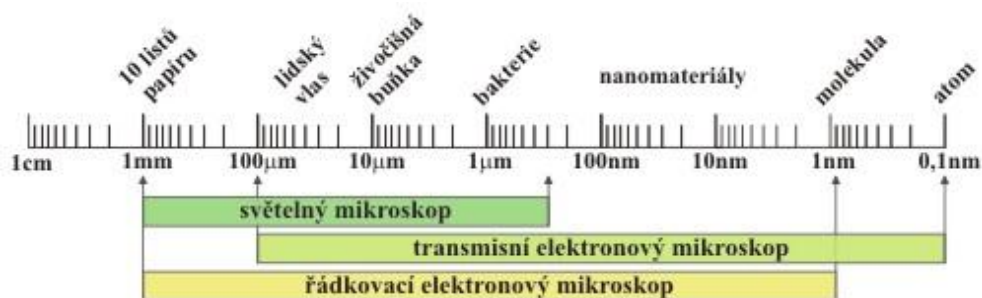
Obr. 9: Ukázka modelového superhydrofóbního povrchu se samočistící schopností, lotosový efekt [18].

2.4. Elektronový mikroskop

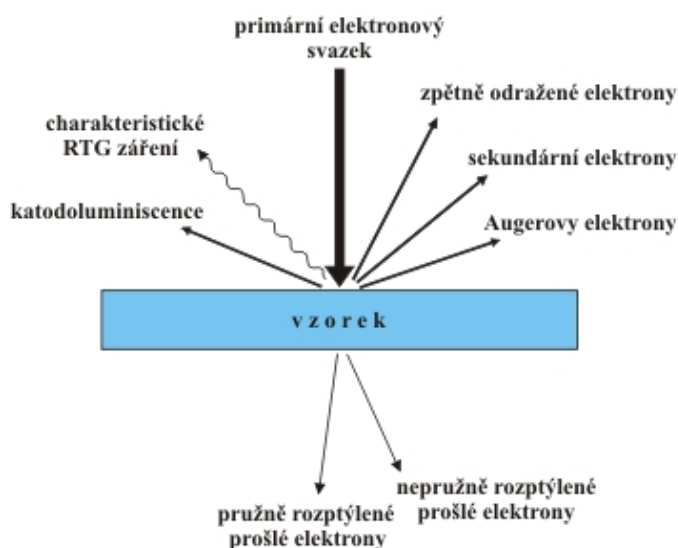
Při dopadu fokusovaného svazku urychlených elektronů na povrch vzorku (obr. 11) dochází k mnoha fyzikálním jevům, které jsou výsledkem složité interakce elektronů s materiálem vzorku. Jsou to jednak odraz, rozptyl, absorpce a transmise primárních elektronů, jednak přeměna jejich energie v záření různé povahy. Elektrony procházející vzorkem se využívají v transmisní elektronové mikroskopii, emise sekundárních a primární odražené elektrony jsou využívány pro zobrazování v řádkovací elektronové mikroskopii. [64]

Užitečné zvětšení pro světelný mikroskop je tedy okolo 550 x, pro elektronové mikroskopy SEM 10000 x a TEM 1000000x.

Místo skleněných čoček jsou použity čočky elektromagnetické. Vzorek i dráha elektronů jsou ve vakuu, nedochází k ovlivnění okolní atmosférou. [19, 20, 21, 22]

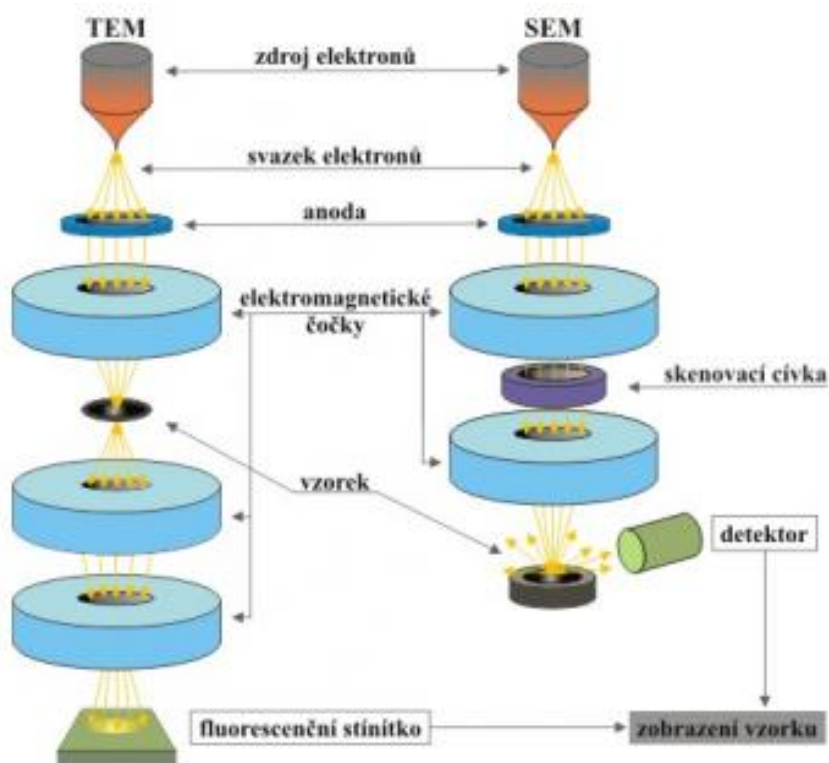


Obr. 10: Typická velikost objektů, které lze pozorovat elektronovým mikroskopem. Pro srovnání je uveden i rozsah světelného mikroskopu. [19]



Obr. 11: Při dopadu elektronů na vzorek dochází k vzájemné interakci a vzniká množství různých signálů, které nesou informaci o pozorovaném vzorku. Je-li vzorek dostatečně tenký, část elektronů jím projde. [19]

Elektronové mikroskopy se dělí na transmisní (TEM) a rastrovací (SEM) elektronové mikroskopy – obr. 12.



Obr. 12: Schématické znázornění principu transmisního (vlevo) a řádkovacího (vpravo) elektronového mikroskopu [18].

Řádkovací (rastrovací) elektronový mikroskop je pojmenován podle způsobu snímání vzorku. Úzký svazek elektronů se pohybuje po řádcích, interakcí dopadajících elektronů s materiálem vzorku vznikají různě detekovatelná záření. Druh a intenzita sekundárního záření závisí na složení objektu v místě dopadu a je využíváno k řízení obrazového bodu na monitoru.

Z těchto signálů je vytvořen výsledný obraz. [19, 20, 21, 22]

Ke zkoumání povrchových struktur vybraných rostlinných povrchů byl využit rastrovací elektronový mikroskop VEGAII TESCAN.



Obr. 13: Řádkovací elektronový mikroskop. [19]

3. Experimentální část

3.1. Příprava vzorků

Pro studium charakteru povrchu rostlin je velmi důležitá příprava vzorků, respektive jejich vysušení. Vysušení vzorku pro pozorování elektronovým mikroskopem a měření kontaktního úhlu by mělo ideálně probíhat co nejpomaleji za běžné pokojové teploty. Aby nedošlo k rychlému vysušení povrchu a tím i veliké deformaci mikrostruktury lze použít metodu, kdy je voda, ve které je rostlinný vzorek umístěn, nahrazen lihem. Vzorek, například list, vložíme na 24 hodin do vody, po uplynutí času vložíme tentýž list na stejnou dobu do roztoku vody s lihem v poměru 3:1, další den se poměr opět změní 2:2, pokračujeme, dokud nebude vzorek ponořen v čistém lihu. Při tomto pomalém sušení rostliny rostliny od třetího dne uhnívaly, od stonku k listu. Proto bylo zvoleno pomalé sušení při průměrné pokojové vlhkosti a 13°C. Jeden list byl volně položený na savý papír, druhý list téhož vzorku byl sušen mezi více savými papíry zatíženými zvolenou hmotností. Tento druhý vzorek je rovný a tím vhodný k měření smáčivosti.

3.1.1. Příprava vzorků pro stanovení kontaktního úhlu

Již při sběru vzorků byl každý vzorek testován kapkou vody umístěnou na povrch rostliny, zda vykazuje hydrofobní chování. Pokud se jevil vzorek zajímavý, byl zařazen do hodnocených vzorků a vybrána strana, na které byly následně měřeny kontaktní úhly, a bylo provedeno mikroskopické hodnocení povrchu.

Listy sušené pod zatížením byly nalepeny pomocí oboustranné lepicí pásky na mikroskopovací sklíčko zkoumanou stranou vzhůru.

3.1.2. Příprava vzorků pro elektronový mikroskop

Příprava preparátů pro rastrovací elektronový mikroskop

Preparát vložený do mikroskopu musí splňovat tyto podmínky:

- povrch musí být čistý, bez cizorodých částic, např. prachu
- měl by být stabilní ve vakuu

- stabilitu by měl vykazovat i při ozáření elektronovým paprskem
- měl by produkovat dostatečné množství požadovaného signálu (např. sekundárních elektronů)
- při ozáření svazkem primárních elektronů by nemělo docházet k nabíjení vzorku [23]

Vzorek se nalepí oboustrannou uhlíkovou lepicí páskou na držák zkoumanou plochou nahoru. Takto připravené vzorky jsou vloženy do naprašovacího zařízení (maximální kapacita je 6 vzorků). V naprašovacím zařízení dojde vlivem elektrického pole k rozmístění částic napařovaného materiálu (slitin Au-Pd) na povrch vzorku. Je tak vytvořena velmi tenká vodivá vrstva na povrchu sledovaného vzorku.

Vzorky, jejichž povrch byl upraven, jsou vloženy do rastrovacího elektronového mikroskopu, upevněny je a prováděno vlastní mikroskopické pozorování.

3.2. Sledování charakteru povrchových struktur vybraných rostlin

Pro mikroskopická pozorování byly vybrány následující rostliny: blahovičník rudokvětý, banksie celolistá, růže Ena Harkness, prvosenka jarní, narcis žlutý, kontryhel obecný a sparmánie africká. U těchto rostlin bylo již při počátečním výběru sledováno hydrofobní chování.

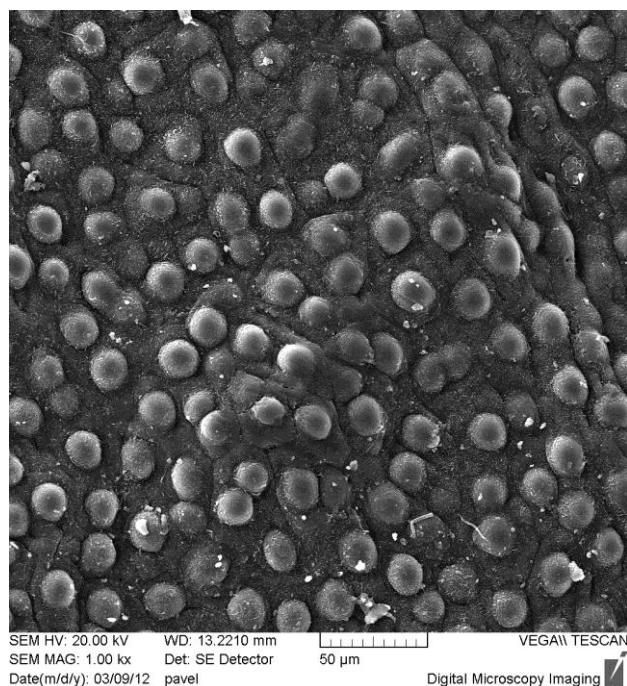
Blahovičník rudokvětý

Blahovičník původem z Austrálie roste v tropickém a subtropickém pásmu. Pěstuje se zejména pro aromatické látky v listech, ale také pro nekvalitní dřevo a jako okrasná rostlina. Roste enormně rychle, v závislosti na klimatu. Květy blahovičníku jsou zdrojem nektaru a tvoří nejhojnější produkci medu v Austrálii. Díky rychlému růstu a velké potřebě vody se vysazují do močálů a bažin, které vysušují a zabraňují tak šíření komárů a malárie. Vedle výše zmíněných vlastností je eukalyptus známý svými účinky na dýchací ústrojí, zejména díky silicím eukalyptolu, které obsahuje v listech. [24]

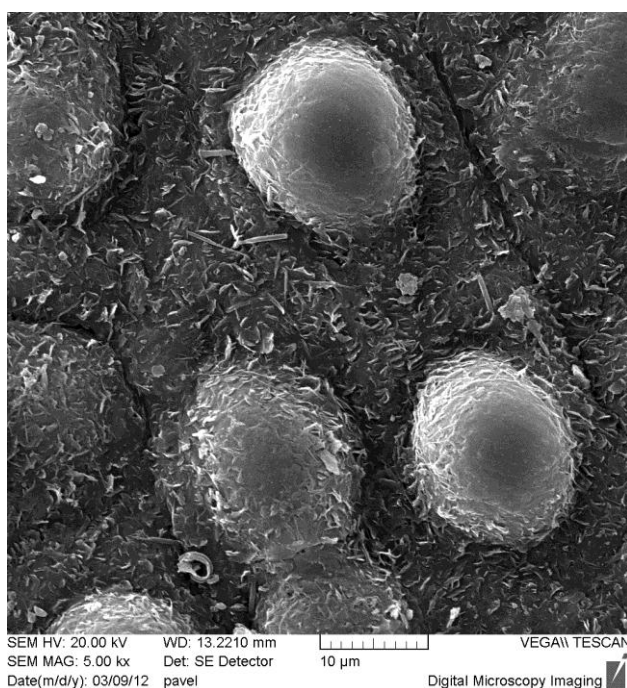
K pozorování byly listy vybrány, neboť při výběru vzorků vykazovaly hydrofobní chování. Při mikroskopickém sledování byly hodnoceny obě strany listu.



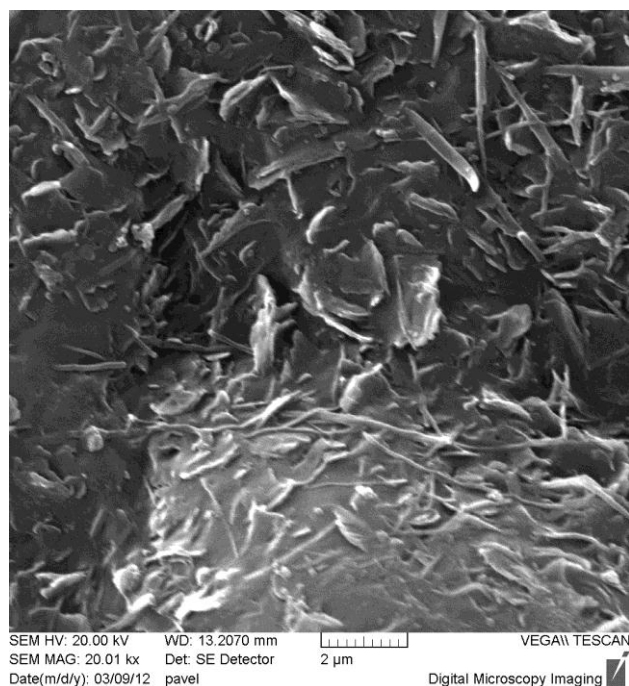
Obr. 14: Listy a květ blahovičníku rudokvětého. [25]



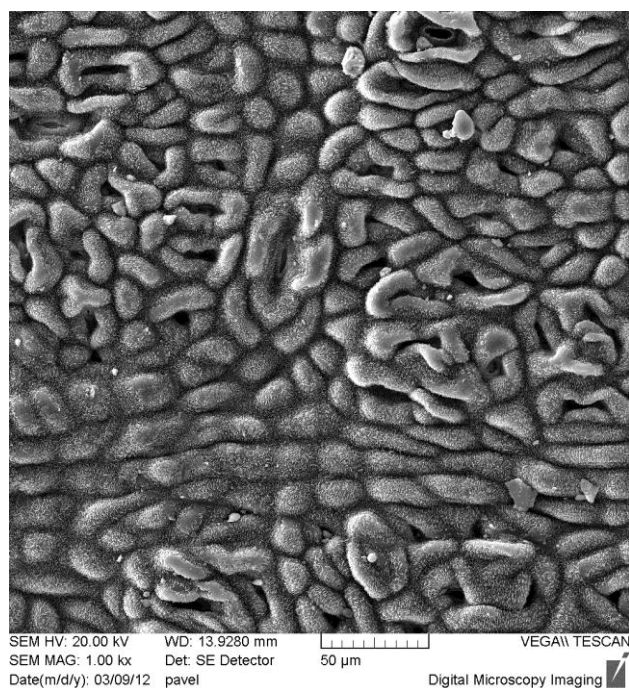
Obr. 15: Zvětšený povrch horní strany listu blahovičníku rudokvětého pokrytý kulovitými konkávními buňkami cca $25\mu m$ velkými, vzdálenými od sebe cca $20\mu m$.



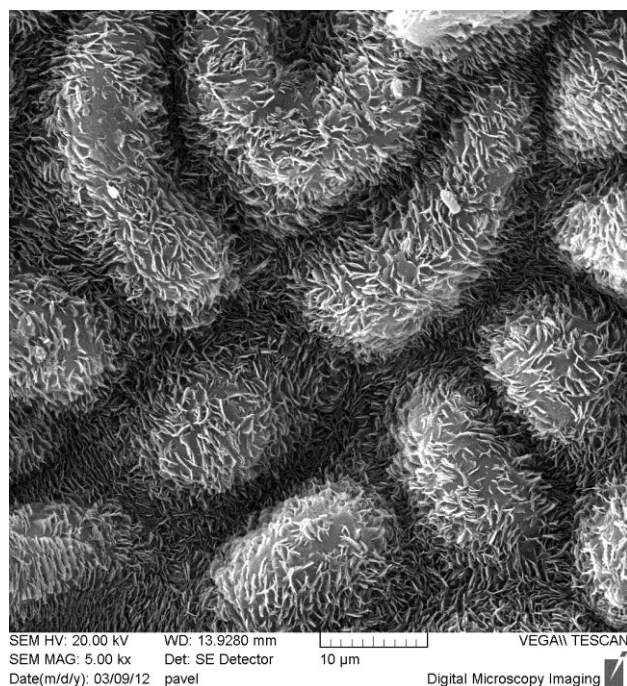
Obr. 16: Zvětšený povrch horní strany listu blahovičníku rudokvětého. Na konkávních buňkách jsou patrné voskové destičky.



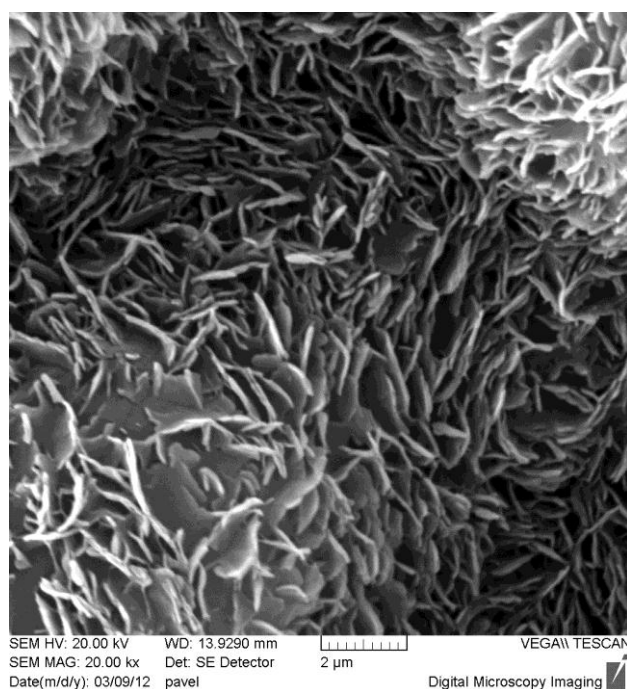
Obr. 17: Zvětšený povrch horní strany listu blahovičníku rudokvětého. Voskovité destičky šířky cca $0,1\mu\text{m}$ a délky až $2\mu\text{m}$ jsou po povrchu nahodile rozesety.



Obr. 18: Zvětšený povrch spodní strany listu blahovičníku rudokvětého pokrytý oválnými konkávními buňkami a průduchy rostliny.



Obr. 19: Zvětšený povrch spodní strany listu blahovičníku rudokvětého s viditelnými voskovitými destičkami.



Obr. 20: Zvětšený povrch spodní strany listu blahovičníku rudokvětého hustě pokrytý voskovitými destičkami širokým cca $0,1 \mu\text{m}$ a dlouhými cca $2 \mu\text{m}$.

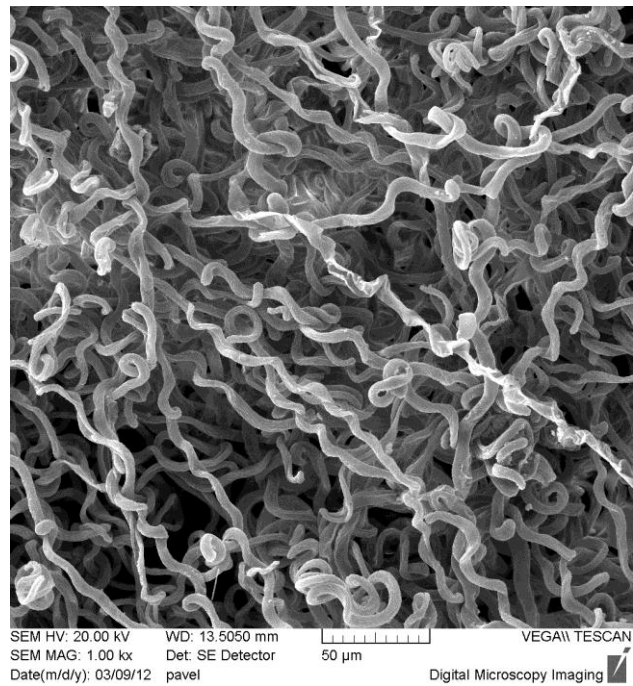
Banksie celolistá

Banksie je rozšířena převážně v Austrálii. Rostliny jsou známy svým přizpůsobením se přirozeným požárům, zdřevnatělé tobolky uvolňují semena až po projití ohněm. [26]

K pozorování byly vybrány listy, neboť při výběru vzorků vykazovaly hydrofobní chování. Při mikroskopickém sledování byla hodnocena dolní strana listu.



Obr. 21: Listy a květ banksie celolisté. [27]



Obr. 22: Zvětšený povrch spodní strany listu banksie celolisté s voskovými útvary připomínající vlákna. Voskovité útvary mají spirálovitý charakter, jejich průměr se pohybuje okolo 5 μm .



Obr. 23: Zvětšený povrch spodní strany listu banksie celolisté.



Obr. 24: Zvětšený povrch spodní strany listu banksie celolisté.

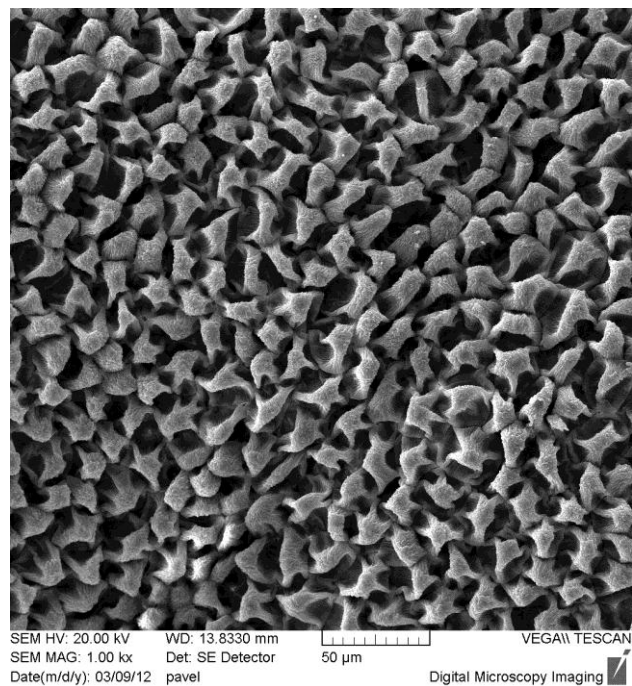
Růže Ena Harkness

Okrasná rostlina vyskytující se převážně v mírném pásu obsahující v květních plátcích směsi aromatických silic. [28]

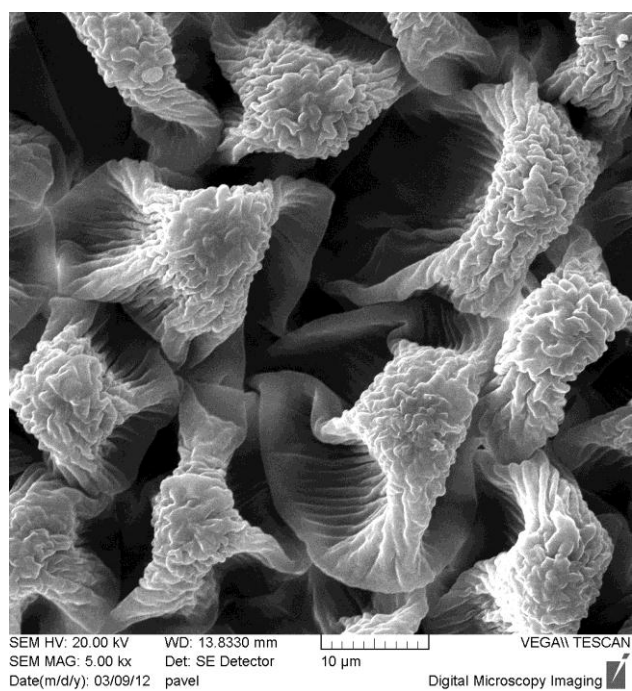
K pozorování byly vybrány listy, neboť při výběru vzorků vykazovaly hydrofobní chování. Při mikroskopickém sledování byla hodnocena horní strana listu.



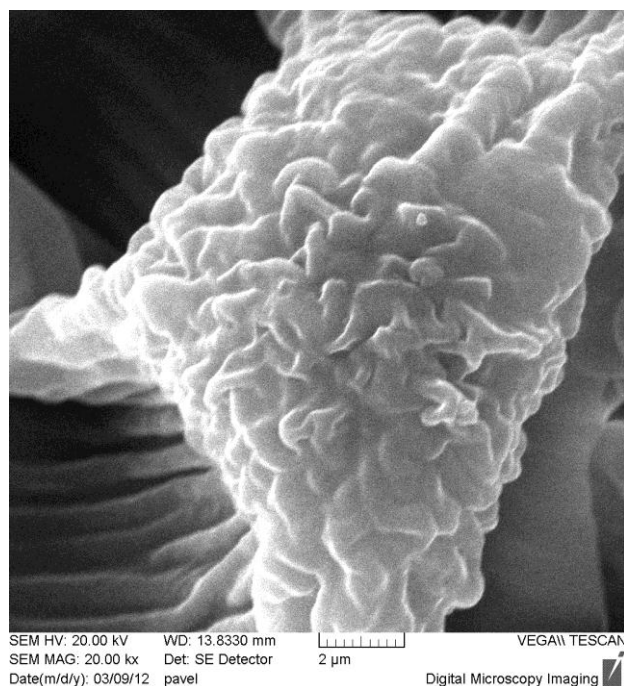
Obr. 25: Květ růže. [29]



Obr. 26: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu růže hustě pokryt vysušenými konkávními buňkami průměru cca 20 μm , výšky cca 25 μm s velmi zvrásněnou strukturou.



Obr. 27: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu růže.



Obr. 28: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu růže s viditelnou strukturou konkávní buňky.

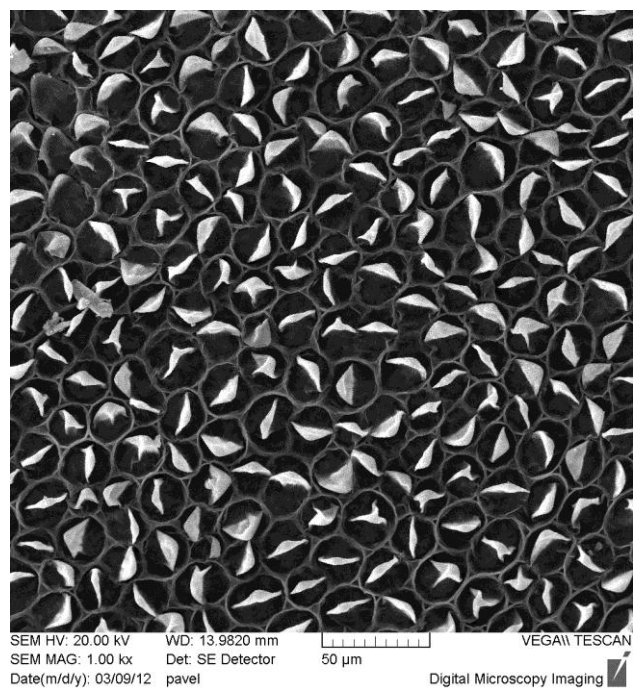
Prvosenka jarní

Prvosenka, lidově nazývaná petrklíč, kvete brzy z jara a využívá se nejen k okrasným účelům, ale i jako léčebná bylina v lidovém lékařství. [30]

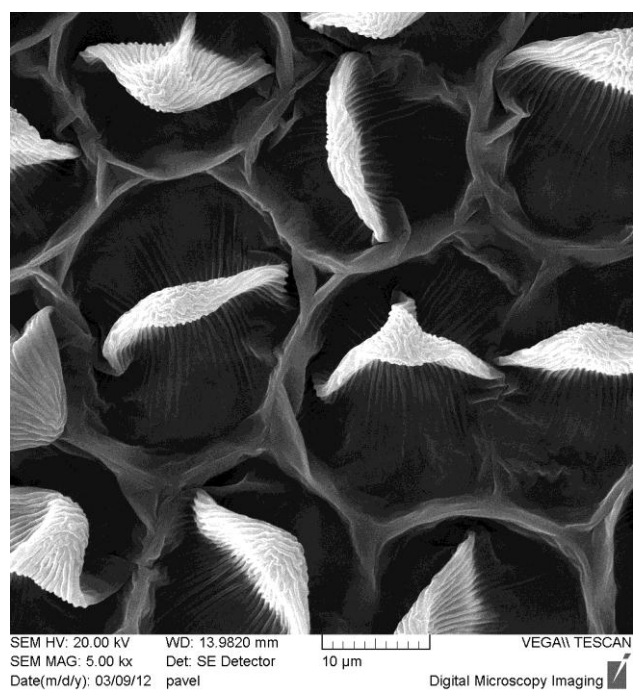
K pozorování byly vybrány listy, neboť při výběru vzorků vykazovaly hydrofobní chování. Při mikroskopickém sledování byla hodnocena horní strana listu.



Obr. 29: Listy a květ prvosenky. [31]



Obr. 30: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu prvosenky s vysušenými konkávními buňkami. Pravidelné uspořádání vysušených kulovitých konkávních buněk průměru cca 25 μm .



Obr. 31: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu prvosenky s vysušenými konkávními buňkami.



Obr. 32: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu prvosenky s viditelnou povrchovou strukturou konkávní buňky, je vidět pravidelné zvrásnění šířky cca $0,5 \mu\text{m}$ utvořené svisle na jednotlivých buňkách.

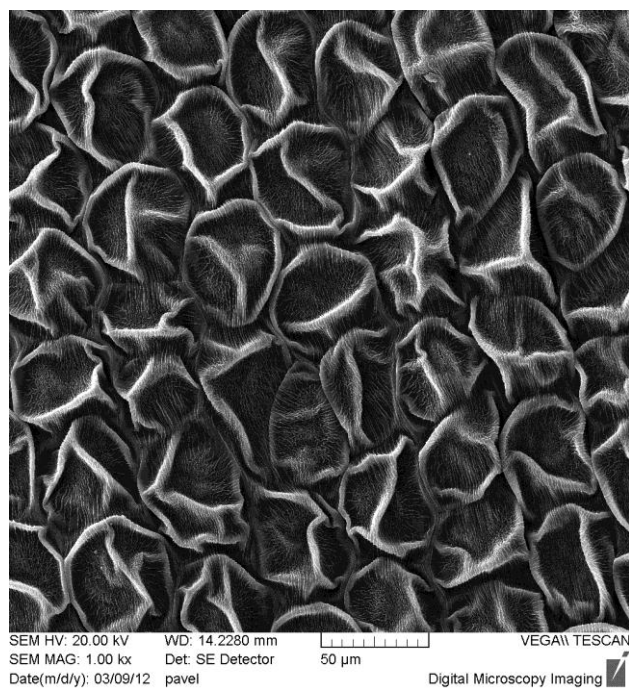
Narcis žlutý

Narcis je okrasná rostlina vykvétající brzy na jaře. Je to vytrvalá bylina původně rozšířená v západní a jihozápadní Evropě. [32]

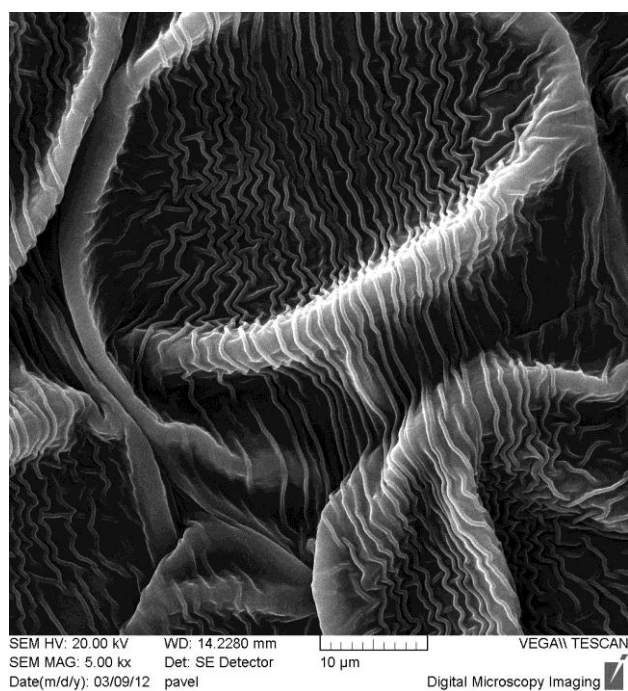
K pozorování byly vybrány listy, neboť při výběru vzorků vykazovaly hydrofobní chování. Při mikroskopickém sledování byla hodnocena horní strana listu.



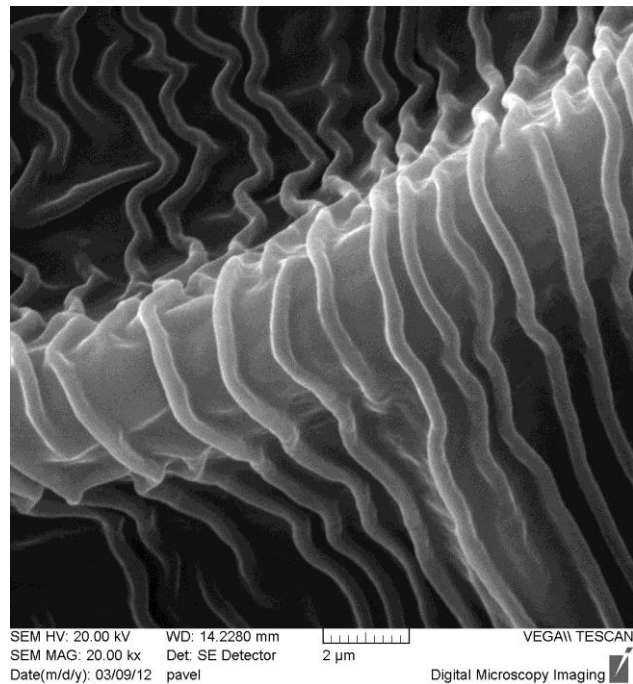
Obr. 33: Květ narcisu. [33]



Obr. 34: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu narcisu s vysušenými konkávními buňkami.



Obr. 35: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu narcisu s vysušenými konkávními buňkami.



Obr. 36: Zvětšený povrch horní strany okvětního listu narcisu s viditelným řádkováním na povrchu konkávní buňky. Pravidelné řádkování tvořené cca $0,4\ \mu\text{m}$ širokými a $0,5\ \mu\text{m}$ vysokými řádky vzdálenými od sebe $1\ \mu\text{m}$.

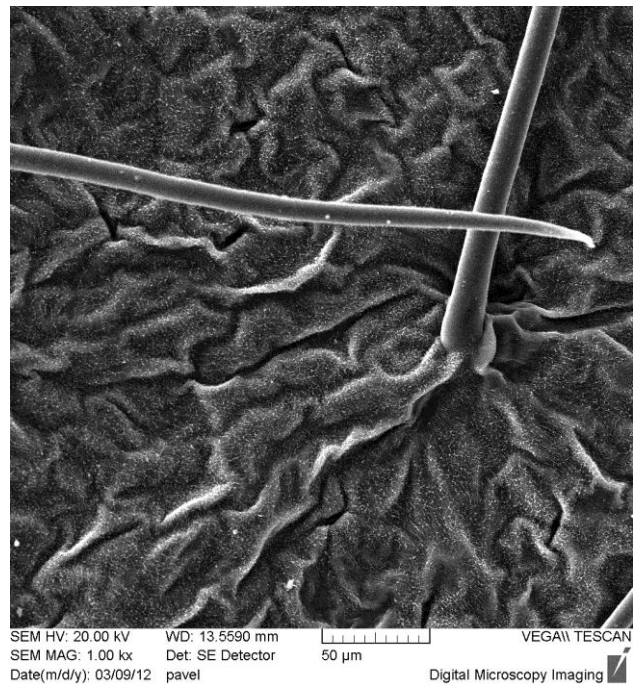
Kontryhel obecný

Kontryhel je velmi rozšířený nejen v Evropě, vyskytuje se i v Himalájích či Grónsku. Sbírá se pro léčivé či omamné účinky. [34]

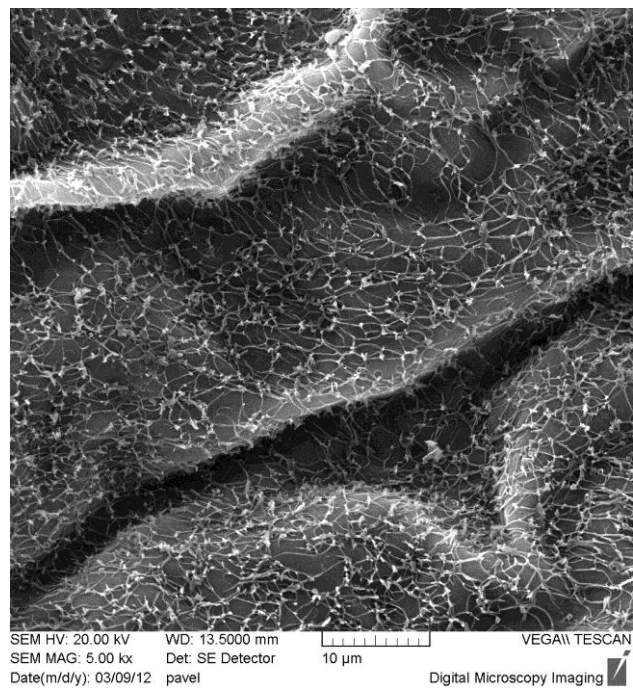
K pozorování byly vybrány listy, neboť při výběru vzorků vykazovaly hydrofobní chování. Při mikroskopickém sledování byla hodnocena horní strana listu.



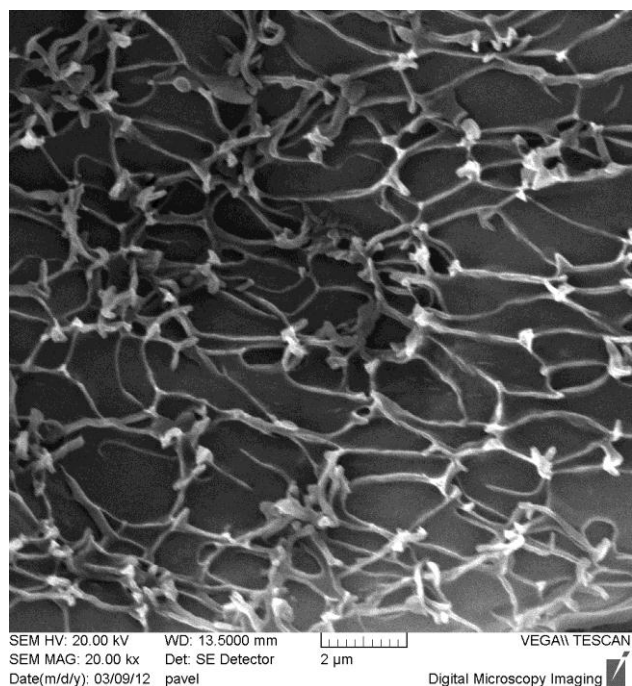
Obr. 37: Listy kontryhelu obecného. [35]



Obr. 38: Zvětšený povrch horní strany listu kontryhelu obecného.



Obr. 39: Zvětšený povrch horní strany listu kontryhelu obecného.



Obr. 40: Zvětšená horní strana listu kontryhelu obecného s viditelnou voskovitou síťovinou pokrývající povrch. Vlákná mají průměr cca 0,1 μm .

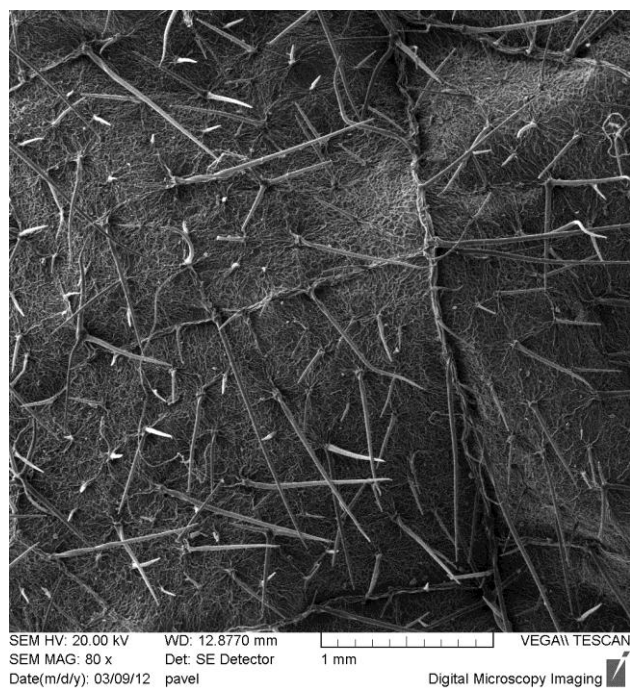
Sparmania africká

Sparmanie je subtropická rostlina pocházející z Afriky, u nás se pěstuje jako pokojová rostlina. [36]

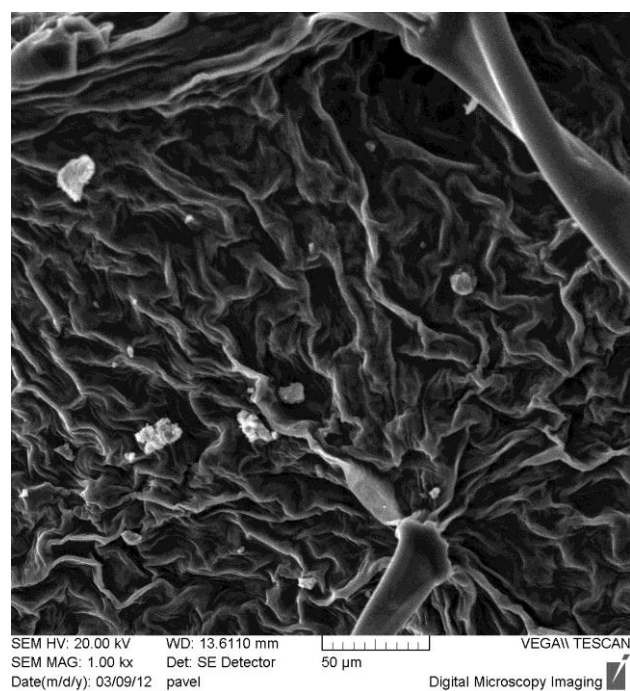
K pozorování byly vybrány listy, neboť při výběru vzorků vykazovaly hydrofobní chování. Při mikroskopickém sledování byla hodnocena horní strana listu.



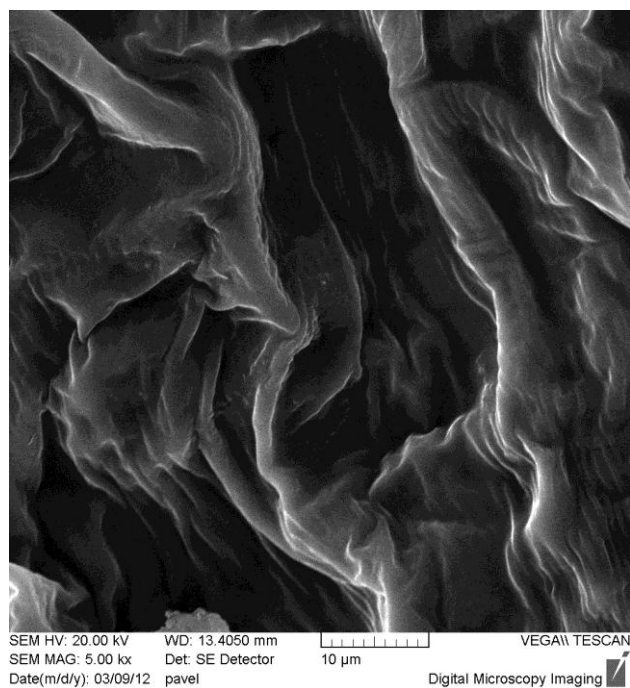
Obr. 41: Listy a květ sparmanie. [37]



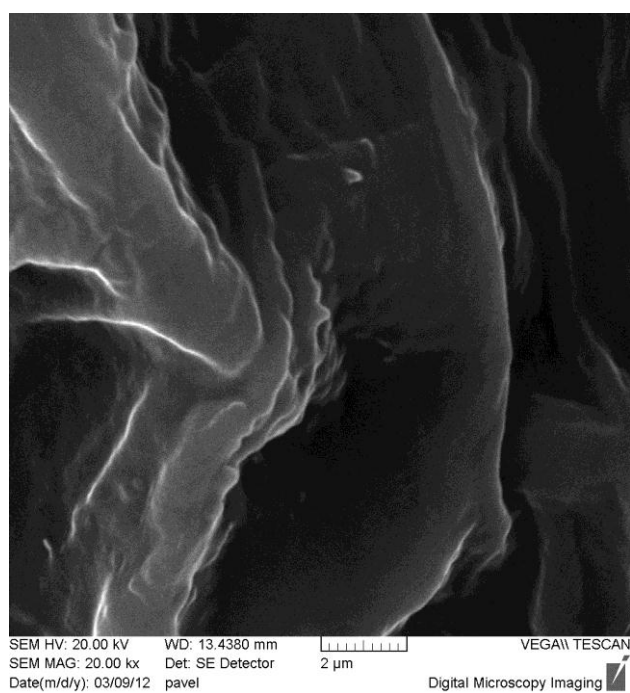
Obr. 42: Zvětšený povrch horní strany listu sparmánie s chaoticky uspořádanými chlupy různých délek, až délky cca 1mm.



Obr. 43: Zvětšený povrch horní strany listu sparmánie.



Obr. 44: Zvětšený povrch horní strany listu sparmánie.



Obr. 45: Zvětšený povrch horní strany listu sparmánie.

3.3. Stanovení kontaktních úhlů povrchových struktur vybraných rostlin

Smáčivost byla měřena metodou přímou - metodou na přisedlé kapce.

Přístroj na měření smáčivosti je vybaven kamerou a tříosým polohovacím stolem, na který je položen předem vysušený vzorek, který má minimální sklon, ideálně zcela rovnoběžný se stolem. Vzorek, například list, může být pro lepší a přesnější manipulaci přilepen k mikroskopovacímu podložnímu sklu, tím se nepoškodí vzorek a vyrovná se.

Pomocí mikropipety bylo nasáto velmi malé množství destilované vody, předem nastaveného objemu (2 μ l). Kapka vody byla umístěna na vzorek, nejlépe co nejbližší ke kameře.

Pomocí polohovacích prvků na přístroji pro měření smáčivosti byla kapička umístěna do ideální polohy, ve které byla na obrazovce počítače zaostřena. Obraz byl zaznamenán ve formě fotografie a uložen. Pomocí počítačového programu byl obkreslen tvar kapky, jsou využity tři body, například dva krajní, stykové s podložkou a jeden vrcholový. Na obrazovce byl odečten výsledný úhel smáčení zkoumaného objektu.

Tabulka 1: Naměřené hodnoty úhlu smáčení, jejich průměrná hodnota a průměrná hodnota se směrodatnou odchylkou.

Měření	Blahovičník rudokvětý	Blahovičník rudokvětý	Banksie celolistá	Růže E.H.
	horní strana listu	spodní strana listu	spodní strana listu	horní strana listu
1.	137.0°	90.2°	150.9°	141.4°
2.	141.2°	91.8°	150.2°	135.5°
3.	141.4°	91.5°	146.8°	144.8°
4.	135.5°	86.4°	145.7°	150.7°
5.	141.3°	91.3°	143.5°	135.9°
6.	136.1°	93.9°	147.2°	152.5°
7.	135.5°	88.9°	146.8°	153.7°
8.	138.7°	79.9°	149.7°	147.3°
9.	133.1°	90.3°	150.3°	144.9°
10.	137.8°	91.5°	144.1°	156.3°
Průměrná hodnota:	137.76°	89.57°	147.52°	146.3°
	137.8±2.8°	89.6±3.9°	147.5±2.7°	146.3±7.2°

čs

Měření	Prvosienka jarní	Narcis žlutý	Kontryhel obecný	Sparmánie africká
	horní strana listu	horní strana listu	horní strana listu	horní strana listu
1.	137.1°	131.1°	144.2°	145.1°
2.	144.9°	135.7°	140.0°	144.7°
3.	143.4°	143.9°	147.6°	136.3°
4.	137.8°	138.4°	146.6°	140.5°
5.	132.9°	133.4°	144.2°	138.6°
6.	135.3°	134.9°	141.6°	140.0°
7.	144.6°	145.5°	142.1°	138.6°
8.	139.3°	141.9°	139.7°	135.6°
9.	142.2°	141.1°	138.9°	140.7°
10.	138.6°	138.7°	141.9°	137.9°
Průměrná hodnota:	139.61°	138.08°	142.68°	139.8°
	139.6±4°	138.1±4.8°	142.7±2.9°	139.8±3.16°

4. Vyhodnocení výsledků

Blahovičník rudokvětý – horní část listu

Průměrná hodnota kontaktního úhlu horní strany listu blahovičníku rudokvětého je 138° , což odpovídá hydrofobnímu povrchu. Na snímcích z rastrovacího elektronového mikroskopu jsou patrné kulovité konkávní buňky průměru cca $25\mu\text{m}$, vzdálené od sebe cca $20\mu\text{m}$, které jsou pokryté voskovitými destičkami šířky cca $0,1\mu\text{m}$ a délky až $2\mu\text{m}$.

Blahovičník rudokvětý – spodní část listu

Na obr. 18 jsou zřetelné průduchy, prozrazují, že jde o spodní stranu listu. Je pokryta oválnými konkávními buňkami cca $10\text{--}25\mu\text{m}$ hustě pokrytými voskovými destičkami širokým cca $0,1\mu\text{m}$ a dlouhými cca $2\mu\text{m}$. I přes znaky hydrofobního povrchu se chová spodní strana hydrofilně. Naměřený kontaktní úhel se pohyboval kolem 90° . Přisuzuji to velkému počtu průduchů, jejichž úkolem je výměny plynů s okolím.

Banksie celolistá – spodní část listu

Průměrná naměřená hodnota kontaktního úhlu spodní strany listu banksie celolisté je 148° , což odpovídá hydrofobnímu povrchu, byly naměřeny i hodnoty kontaktního úhlu převyšující 150° , což odpovídá povrchu superhydrofobnímu.

Dostupná literatura se o takto tvořeném hydrofobním povrchu nezmiňuje. Není tvořen deskami, nýbrž voskovými útvary připomínající vlákna, kterými je povrch přímo tvořen. Vlákna mají průměr cca $5\mu\text{m}$.

Růže Ena Harkness

Průměrná naměřená hodnota kontaktního úhlu horní strany okvětního lístku růže je 147° , což odpovídá hydrofobnímu povrchu, byly naměřeny i hodnoty kontaktního úhlu převyšující 150° , což odpovídá povrchu superhydrofobnímu.

Na snímcích z rastrovacího elektronového mikroskopu jsou patrné vysušené kulovité konkávní buňky průměru cca 25μm, které jsou pravidelně uspořádány jedna vedle druhé, pokryté zvrásněným povrchem.

Prvosienka jarní

Průměrná naměřená hodnota kontaktního úhlu horní strany okvětního lístku primule je 140°, což odpovídá hydrofobnímu povrchu. Na snímcích z rastrovacího elektronového mikroskopu jsou patrné vysušené kulovité konkávní buňky průměru cca 25μm, které jsou pravidelně uspořádány jedna vedle druhé, pokryté zvrásněným povrchem připomínající manšestrovou tkaninu.

Narcis žlutý

Průměrná naměřená hodnota kontaktního úhlu horní strany okvětního lístku narcisu je 138°, což odpovídá hydrofobnímu povrchu. Na snímcích z rastrovacího elektronového mikroskopu jsou patrné vysušené kulovité konkávní buňky průměru cca 50μm, které jsou pravidelně uspořádány jedna vedle druhé, pokryté zvrásněným povrchem připomínající manšestrovou tkaninu.

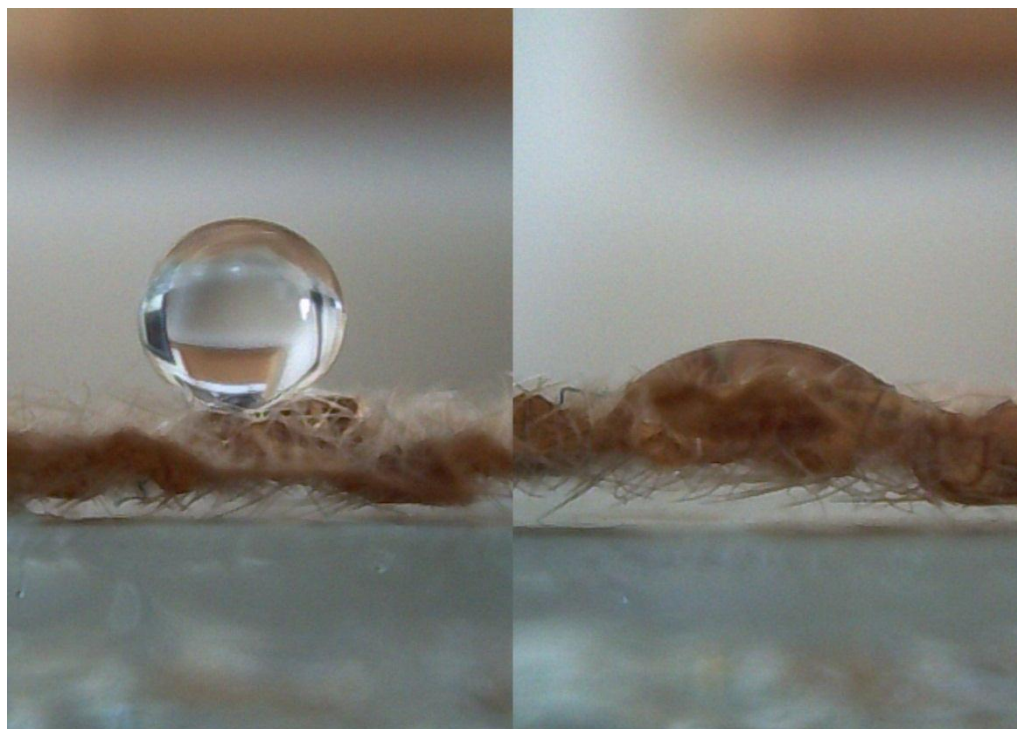
Kontryhel obecný

Průměrná naměřená hodnota kontaktního úhlu horní strany listu kontryhelu je 143°, což odpovídá hydrofobnímu povrchu, byly naměřeny i hodnoty kontaktního úhlu převyšující 150°, což odpovídá povrchu superhydrofobnímu.

Okem viditelné chloupky zřejmě funkcí nezasahují do hydrofobicity povrchu, na rozdíl od voskovité síťoviny, která je pravidelně utvořena na rovném podkladu.

Sparmanie africká

Velmi chlupatý povrch sparmanie se zpočátku chová hydrofóbně, kapku zadrží chloupky, ovšem po chvíli se voda dostane skrz až k samotnému epidermu rostliny. Proces byl zaznamenán na obr.: 46. Rostlinu můžeme tedy považovat za krátkodobě hydrofobní (naměřená průměrná hodnota kontaktního úhlu je 140°), ovšem po určité době jako hydrofilní (desítky sekund). Velmi vrásčitý povrch pod chloupky nikterak vodu neodpuzuje a chloupky díky kapilárnímu efektu vodu zadrží – obr.46.



Obr. 46: Povrch sparmánie.

Pro pozorování a zaznamenání povrchů při takto velkých zvětšeních je s dnešní technikou nutné použít rastrovací elektronový mikroskop, a proto je nutné umístit vzorky do vakua. Vzorky musí být vysušené, tím se deformuje jejich původní struktura povrchu, jak je viditelné například u růže. Na obr. 27 je vidět její vysušený povrch, pravděpodobně by povrch před sušením vypadal jinak. Byl by hustě pokryt kulovitými buňkami se zvrásněným povrchem a není zcela vyloučeno, že by se choval superhydrofobně.

Rostlinné povrchy mohou vykazovat řadu vlastností, které mohou být velmi užitečné v technické praxi.

Hydrofobicita a samočistící schopnost může být použita u skel, zrcadel textilií atd. Odstraňování nečistot z povrchu zvětšuje povrch rostliny, na který dopadají sluneční paprsky, tím se zvyšuje schopnost fotosyntézy. Čištění pórů a průduchů také zvyšuje výměnu plynů mezi rostlinou a okolním prostředím a zabraňuje vzniku vodního filmu na povrchu listu, který by výměně plynů bránil.

Kdežto plyný film u ponořené rostliny umožňuje pokračování výměny plynu přes průduchy, plyn je uložen v mezerách mezi chloupky, tím umožňuje přežití rostlin v období dešťů.

Hydrofilicita, která umožňuje rozlití kapaliny po povrchu rostliny, což umožní rychlejší vstřebání vody rostlinou, popřípadě rychlejší odpaření vody z povrchu rostliny. I tato vlastnost může být použita v technické praxi. [2, 3]

5. Závěr

Cílem práce bylo studium charakteru struktury a chování povrchových vrstev u vybraných rostlinných objektů. Byly vybrány listy blahovičnicku rudokvětého, banksie celolisté, růže Ena Harkness, prvosenky jarní, narcisu žlutého, kontryhelu obecného a sparmánie africké, byla hodnocena smáčivost jejich povrchů a vyjádřena velikostí kontaktního úhlu a byly pořízeny snímky z elektronového mikroskopu.

Smáčivost vyjádřená velikostí kontaktního úhlu se u vybraných rostlinných vzorků se pohybovala kolem 140° , což jsou povrchy hydrofobní. U banksie, růže a kontryhelu byla naměřena i hodnota převyšující 150° , typická pro superhydrofobní povrchy. Výjimkou byla spodní strana listu eukalyptu ficifolia, která vykazovala hodnoty smáčivosti na hranici hydrofobicity. Pravděpodobně to bylo ovlivněno i velkým množstvím průduchů.

U vybraných listů byly zaznamenány hydrofobní povrchy pokryté voskovitými destičkami, trichomy, různým způsobem zvrásněné konkávní buňky, ale i povrch pokrytý síťovinou voskovitého charakteru, či spirálovité útvary opět voskovitého charakteru. Všechny tyto povrchy zachycené rastrovacím elektronovým mikroskopem plní funkci hydrofobních rostlinných povrchů a proto mají širokou škálu možných uplatnění. Hodnocení a charakteristika struktury rostlinných povrchů je počátkem vývoje technického produktu využívajícího inspiraci v přírodě.

6. Použité zdroje

[1] [on line]. Dostupný na www:

<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/367/1893/1487/F1.expansion.html>

[citace: 25.2.2012].

[2] Bharat Bhushan: Biomimetic: lesson from nature – an overview. Columbus, USA: Ohio State University, 2009. 1445-1472.

[3] Kerstin Koch, Wilhelm Barthlott: Superhydrophobic and superhydrophilic plant surfaces: an inspiration for biomimetic materials. Bonn, Germany: University of Bonn, 2009. 1487-1509.

[4] Pluhař, J. a kol. Nauka o materiálech. SNTL – Nakladatelství technické literatury Alfa, Praha 1989: 552 stran, první vydání. 90 - 98

[5] [on line]. Dostupný na www:

<http://golgihoaparatus.blog.cz/0901/viii-rostliny>

[citace: 15.2.2012].

[6] [on line]. Dostupný na www:

http://masozravky.org/index.php?option=com_content&task=view&id=353&Itemid=42

[citace: 15.2.2012].

[7] [on line]. Dostupný na www:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Pektin>

[citace: 18.2.2012].

[8] [on line]. Dostupný na www:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Bun%C4%9B%C4%8Dn%C3%A1st%C4%9Bna>

[citace: 20.2.2012].

[9] [on line]. Dostupný na www:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Plasmatick%C3%A1membr%C3%A1na>

[citace: 15.2.2012].

- [10] [on line]. Dostupný na www:
http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/youngova_rovnice.html
[citace: 15.2.2012].
- [11] [on line]. Dostupný na www:
<http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nove/dokumenty/studmaterialy/mint/mit16.pdf>
[citace: 18.2.2012].
- [12] [on line]. Dostupný na www:
http://www.ft.tul.cz/depart/ktc/include/osobni_stranky/vikova.martina/teaching/11smac3.pdf
[citace: 25.2.2012].
- [13] [on line]. Dostupný na www:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Bun%C4%9B%C4%8Dn%C3%A1_st%C4%9Bna
[citace: 5.3.2012].
- [14] [on line]. Dostupný na www:
http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_uhlu_smaceni.html
[citace: 15.2.2012].
- [15] [on line]. Dostupný na www:
http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-579-X/pdf/058.pdf
[citace: 25.2.2012].
- [16] [on line]. Dostupný na www:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Povrchov%C3%A9_nap%C4%9Bt%C3%AD
[citace: 3.3.2012].
- [17] [on line]. Dostupný na www:
<http://www.nano4you.cz/page/nanotechnologie/2>
[citace: 16.2.2012].

- [18] [on line]. Dostupný na www:
[http://www.google.cz/imgres?q=povrch+rostlin&start=232&hl=cs&biw=1241&bih=606&gbv=2&tbm=isch&tbnid=zL-bpi13m_DgnM:&imgrefurl=http://www.nano4you.cz/page/jak-funguji-nase-pri/13&docid=zRnv3tQbaVOejM&imgurl=http://www.nano4you.cz/static_page_s_files/ilustrace%252520\(1\).jpg&w=1024&h=768&ei=jJM-T-7KLOOP4gTf7-W1CA&zoom=1&chk=sbg](http://www.google.cz/imgres?q=povrch+rostlin&start=232&hl=cs&biw=1241&bih=606&gbv=2&tbm=isch&tbnid=zL-bpi13m_DgnM:&imgrefurl=http://www.nano4you.cz/page/jak-funguji-nase-pri/13&docid=zRnv3tQbaVOejM&imgurl=http://www.nano4you.cz/static_page_s_files/ilustrace%252520(1).jpg&w=1024&h=768&ei=jJM-T-7KLOOP4gTf7-W1CA&zoom=1&chk=sbg)
[citace: 15.2.2012].
- [19] [on line]. Dostupný na www:
<http://www.fzu.cz/popularizace/elektronovym-mikroskopem-do-nitra-materialu-aneb-jak-vypada-jejich-struktura>
[citace: 25.2.2012].
- [20] [on line]. Dostupný na www:
<http://www.paru.cas.cz/lem/book/index.html#>
[citace: 25.2.2012].
- [21] [on line]. Dostupný na www:
http://www.wikiskripta.eu/index.php/Elektronov%C3%BD_mikroskop
[citace: 25.2.2012].
- [22] [on line]. Dostupný na www:
http://www.vscht.cz/nmr/mol_model_bioinfo/lekce/mikroskopie.pdf
[citace: 25.2.2012].
- [23] [on line]. Dostupný na www:
<http://www.paru.cas.cz/lem/book/Podkap/8.0.html>
- [24] [on line]. Dostupný na www:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Blahovi%C4%8Dn%C3%ADk>
[citace: 30.4.2012].

[25] [on line]. Dostupný na www:

http://www.google.cz/imgres?q=Eucalyptus+ficifolia&hl=cs&biw=1241&bih=617&gbv=2&tbm=isch&tbnid=x28oJjRAuYljgM:&imgrefurl=http://en.wikipedia.org/wiki/Corymbia_ficifolia&docid=v-mqQbO4OHSfZM&imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/35/Corymbia_ficifolia_Flowers.jpg.jpg/220px-Corymbia_ficifolia_Flowers.jpg.jpg&w=220&h=294&ei=2rpwT6bfBOr64QTBq9W_Ag&zoom=1

[citace: 25.2.2012].

[26] [on line]. Dostupný na www:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Proteovit%C3%A9>

[citace: 30.4.2012].

[27] [on line]. Dostupný na www:

http://www.google.cz/imgres?q=banksia+integrifolia&num=10&hl=cs&gbv=2&biw=1241&bih=617&tbm=isch&tbnid=6ingHfo_Kl3bVM:&imgrefurl=http://www.friendsoflanecovenationalpark.org.au/Flowering/Flowers/Banksia_integrifolia.htm&docid=k5ozA5dWSZF_XM&imgurl=http://www.friendsoflanecovenationalpark.org.au/Images/Flowering/Flowers/Banksia/Banksia_integrifolia_043.jpg&w=600&h=464&ei=dbtwT5-IN8WAhQfl2eyWBw&zoom=1

[citace: 25.2.2012].

[28] [on line]. Dostupný na www:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/R%C5%AF%C5%BEE>

[citace: 30.4.2012].

[29] [on line]. Dostupný na www:

http://www.google.cz/imgres?q=R%C5%AF%C5%BEE&start=77&hl=cs&gbv=2&biw=1241&bih=617&tbm=isch&tbnid=mOcuwWR2EybAdM:&imgrefurl=http://ruze.unas.cz/Galerie_Ruze_Typ_Popinave.htm&docid=r-pw52_1HmGvmM&imgurl=http://ruze.unas.cz/images/roses/640x480/Ena_Harkness_20040613.jpg&w=640&h=480&ei=G71wT9bkHZPP4QTguZTAAG&zoom=1

[citace: 25.2.2012].

[30] [on line]. Dostupný na www:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Primula>

[citace: 30.4.2012].

[31] [on line]. Dostupný na www:

http://www.google.cz/imgres?q=Primula&hl=cs&gbv=2&biw=1241&bih=617&tbm=isch&tbnid=F9MGMI05LiBj-M:&imgrefurl=http://www.greencorner.ru/primula.html&docid=xskv4DgGVHWEWM&imgurl=http://www.greencorner.ru/img3/primula_vulgaris1_1.jpg&w=500&h=454&ei=xrtwT4ncJaWC4gT_-vS_Ag&zoom=1

[citace: 25.2.2012].

[32] [on line]. Dostupný na www:

http://cs.wikipedia.org/wiki/Narcis_%C5%BElut%C3%BD

[citace: 30.4.2012].

[33] [on line]. Dostupný na www:

http://www.google.cz/imgres?q=Narcis&hl=cs&gbv=2&biw=1241&bih=617&tbm=isch&tbnid=4lpiMK7JMRUetM:&imgrefurl=http://www.garten.cz/forum/vt/cz/2506-narcis-narcissus/&docid=bcEHC764hzBSQM&imgurl=http://www.garten.cz/images_data/240_narcis.jpg&w=280&h=277&ei=_btwT6WSJaOP4gTe6LS_Ag&zoom=1

[citace: 25.2.2012].

[34] [on line]. Dostupný na www:

http://cs.wikipedia.org/wiki/Kontryhel_obecn%C3%BD

[citace: 30.4.2012].

[35] [on line]. Dostupný na www:

<http://www.google.cz/imgres?q=kontryhel&num=10&hl=cs&gbv=2&biw=1241&bih=617&tbm=isch&tbnid=YcOdqu9HPFMufM:&imgrefurl=http://clanky.vareni.cz/kontryhel-obecn%C3%BD/&docid=bKpPkqC7LKuuKM&imgurl=http://www.vareni.cz/include/ir/clanky/605/detail--292x.jpg&w=292&h=437&ei=M7xwT53ZGYShAfY3si6Bw&zoom=1>

[citace: 25.2.2012].

[36] [on line]. Dostupný na www:

<http://www.kvetyzahrada.sk/databaza-rastlin/sparmania-africka>

[citace: 30.4.2012].

[37] [on line]. Dostupný na www:

http://www.google.cz/imgres?q=Sparmania&hl=cs&gbv=2&biw=1241&bih=617&tbm=isch&tbnid=nZIkLWFoMVHohM:&imgrefurl=http://www.agroromania.ro/articole/Plante-de-apartament/Inedit_Teiu-de-camer%25C4%2583-265.html&docid=GcjSRVNPCTeQ9M&imgurl=http://www.agroromania.ro/media/tei-de-camera-sparmania-africana.jpg&w=465&h=700&ei=jrxwT8X9BbP44QTx6Oy_Ag&zoom=1

[citace: 25.2.2012].